

Pronósticos de temperaturas máximas y mínimas después del paso de los frentes fríos. (SATEM)

Autores: EUGENIO MOJENA LÓPEZ, LUIS YÁÑEZ TRUJILLO, CARLOS M. GÓNGORA GONZÁLEZ, HILARIO TÓRREZ AMADOR, ANTONIA ORTEGA GONZÁLEZ, VÍCTOR HUGO BASTIDA VILLALOBOS.

Centro de Pronósticos del Tiempo, Instituto de Meteorología. E-mail:

Resumen.

La propagación de la nubosidad convectiva durante el desplazamiento de los frentes fríos en la costa del Atlántico y del Golfo de México según se aprecia en las imágenes IR y TV, reflejan un intercambio de gran escala océano-atmósfera. En este caso el aire frío que fluye desde la costa sobre las aguas calientes es paulatinamente modificado desde abajo a través de la adición de calor y humedad, sin embargo, ya que la masa de aire frío debe recibir una determinada cantidad de calor y humedad de la superficie subyacente del océano, para que se genere la nubosidad, un área libre de nubes aparece entre la línea costera y las primeras nubes convectivas, este efecto es particularmente singular corriente abajo desde las áreas de tierra que penetran profundamente en el océano, como es el caso de la Península de la Florida, al cual denominamos Cuña Fría (Tc).

El presente trabajo se fundamenta en este efecto y presenta un conjunto de algoritmos de cálculo para el pronóstico de temperaturas máximas y mínimas después del paso de los frentes fríos sobre el territorio de Cuba, el cual contempla diferentes categorías: por regiones y por provincias, con imágenes de satélites solamente y con imágenes de satélites e información complementaria obtenida de los mapas de superficie y de aire superior. Incluyéndose además una variante como complemento para los casos en que no se presenta dicho efecto. Los

resultados aquí obtenidos están representados en un Software denominado SATEM (Satélite - Temperatura) el cuál está programado en lenguaje PASCAL, el mismo cuenta con un menú que permite una interacción muy rápida entre el usuario y el sistema. La introducción de los datos es por teclado y el tiempo de corrida no excede los 5 minutos.

Introducción

Las imágenes de espectro infrarrojo y visible tomadas por los satélites de control del medio ambiente, permiten comúnmente la observación de diferentes procesos de interacción océano-atmósfera. Estos procesos generalmente se vinculan con la presencia ó ausencia de formaciones nubosas, las que se relacionan con la estructura térmica de la superficie subyacente. Los procesos de interacción océano-atmósfera juegan un papel importante en las anomalías del tiempo a gran escala y en los cambios climáticos, en una escala más local en la intensificación y disipación de tormentas y sistemas frontales, así como en la regulación de la temperatura en diferentes zonas del planeta.

Este método establece como condición la distribución que toma la nubosidad en las imágenes de espectro visible e infrarrojo de los satélites de control del medio ambiente en determinadas ocasiones al paso del aire frío que acompaña al frente sobre la

Península de la Florida y sus mares adyacentes, dando origen a una zona completamente libre de nubosidad que se desplaza hacia el sur, llegando alcanzar a Cuba y al Caribe Occidental. Esta zona libre de nubes toma la forma de una cuña que se desplaza con el tiempo, a la que se le ha denominado "cuña fría".

El aire frío que fluye desde la costa sobre las aguas calientes del océano es modificado desde abajo a través de la advección de calor y de humedad, sin embargo ya que la masa de aire frío debe recibir una determinada cantidad de calor y humedad de la superficie subyacente del océano para que se genere la nubosidad, un área libre de nube aparece entre la línea costera y las primeras nubes convectivas. Este efecto es particularmente singular corriente abajo desde las áreas de tierras que penetran profundamente en el océano. La extensión de esta zona libre de nubes desde la costa depende del tiempo de calentamiento y la evaporación del océano así como la temperatura, humedad y velocidad

de desplazamiento de la masa de aire frío, la cual hemos denominado cuña fría (Tc), Fig.1, como se puede apreciar el mismo se fundamenta en un proceso de interacción océano-atmósfera .

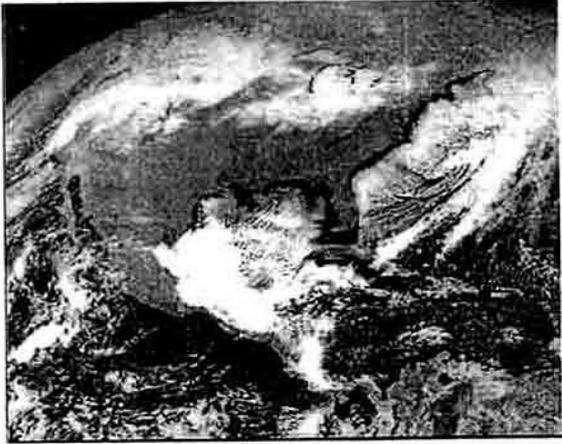


Fig 1. Muestra una imagen del satélite Goes donde se observa una cuña tipo 5

Estas cuñas (Tc) se clasificaron en cinco grupos atendiendo al límite de su frontera sur .

- Tc1 = región central de la Florida
- Tc2 = extremo sur de la Florida
- Tc3 = Canal de la Florida
- Tc4 = región occidental de Cuba
- Tc5 = Caribe occidental

El método contempla dos grandes categorías:

a- pronóstico por regiones (región occidental y central)

b- pronóstico por provincia

El pronóstico por regiones: contempla el pronóstico de temperaturas mínimas y presenta dos variantes:

- 1 - si existe solamente observación de satélite
- 2 - si existe información del aire superior.

Pronóstico por provincias: Realiza el pronóstico de temperaturas máximas y mínimas e incluye dos variantes.

1 - Existe cuña: Predictor básico Tc. Necesita información complementaria de superficie y aire superior (1000 y 850 hPa).

2 - No hay cuña: Toma los mismos predictores del caso 1 y además datos del anticiclón continental.

Materiales y métodos

Para el desarrollo del método se utilizaron 10 temporadas de frente frío, que abarcan el periodo correspondiente de 1974-1984. Para este periodo se revisaron todos los mapas sinópticos de superficie, para determinar la llegada y desplazamiento de los frentes sobre Cuba y las imágenes de satélites correspondientes para determinar la presencia ó no de la cuña fría. Se extrajeron los reportes de temperaturas máximas y mínimas después del paso de los frentes fríos sobre Cuba y los valores correspondientes a temperatura , dirección y fuerza del viento a 1000 y 850 hPa en la estación 210 (Tampa) . Del análisis de estas 10 temporadas se obtuvieron 120 casos de días con cuña y 110 casos de días sin cuña.

De todas las variables utilizadas como predictores permanecieron como significativas para la estimación de las temperaturas máximas y mínimas las siguientes:

Tc - Tipo de cuña

TmxP -Temperatura máxima Pinar del Rio del día anterior

TmP-Temperatura mínima Pinar del Rio de la reciente madrugada

TmxH-Temperatura máxima Habana del día anterior

TmH -Temperatura mínima Habana de la reciente madrugada

TmM -Temperatura mínima Matanzas de la reciente madrugada

TmxV -Temperatura máxima Las Villas del día anterior

TmV - Temperatura mínima Las Villas de la reciente madrugada

T850 - Temperatura en los 850 hPa en la carta de las 1200 Z

T1000 - Temperatura en los 1000hPa en la carta de las 1200 Z

Dv850 - Dirección del viento en los 850 hPa en la carta de las 1200 Z

Dv1000 - Dirección del viento en los 1000 hPa en la carta de las 1200 Z

Vv 850 - Velocidad del viento en los 850 hPa en la carta de las 1200 Z

Vv1000 - Velocidad del viento en los 1000 hPa

Pa - Presión central del anticiclón continental

Aquí la variable temperatura Máxima esta referida a la máxima del día anterior, mientras que la Temperatura mínima esta referida a la mínima del día en que se aplica el método. Las variables del aire superior se toman a las 12 Z del día en que se aplica el método.

Para el procesamiento estadístico de la muestra se utilizó un método de correlación paso a paso para obtener los mejores predictores y posteriormente se realizó una regresión lineal ROBUST que introduce pesos a las variables correspondientes, el cual tiene como ventaja que se ajusta muy bien a la muestra, y dada las características del método que fija un conjunto de condiciones para el mismo la probabilidad de ocurrencia de casos muy distantes a la muestra es mínima.

Ecuaciones pronóstico

De acuerdo a las dos grandes categorías de pronósticos señaladas anteriormente, los datos fueron procesados de la forma siguiente, utilizándose el software de procesamiento estadístico NCCS de acuerdo con la metodología antes señalada

Pronóstico por regiones

1- Solamente con información de satélite (Tc)

2-Con información complementaria Tc , T1000 , T850

Pronósticos por Provincias

1- Con cuña

2- Sin cuña

Pronóstico por regiones

1- Solamente con información de satélite

$T_m = 18.65 - 1.83 (T_c)$ Reg. Occidental

$T_m = 17.72 - 1.69 (T_c)$ Reg. Central

2- Con información complementaria

$T_m = 13.82 - 1.72 (T_c) + 0.35 (T_{1000})$ Reg. Occidental

$T_m = 14.32 - 1.69 (T_c) + 0.40 (T_{850})$ Reg. Central

Siendo los coeficientes de correlación correspondientes: R1 = 0.7, R2 = 0.80, R3 = 0.7

R4 = 0.8

Pronóstico por provincias

Este al igual que el pronóstico por regiones se extiende hasta la región central pues hasta aquí se observa la influencia de la cuña fría.

Pinar del Río

$T_m = 9.7 - 7.7923 (T_c) + 0.3243 (T_{mxP}) + 0.2592 (T_{850}) - 0.05 (Dv_{1000}) - 0.9307 (Vv_{1000}) - 0.0757 (Dv_{850})$

$T_{mx} = 27.69 - 2.767 (T_c) - 0.0259 (Dv_{1000}) - 0.487 (Dv_{850})$

Siendo los coef. de correlación R = 0.80 R = 0.90

Habana

$T_m = 2.68 - 7.60 (T_c) + 0.2903 (T_{mxH}) + 0.2189 (T_{1000}) + 0.2623 (T_{850}) + 0.0621 (Dv_{1000})$

$T_{mx} = 9.702 + 0.7673 (T_{mxH}) - 0.3596 (T_{mH}) + 0.1144 (T_{1000}) - 0.0498 (Dv_{1000})$

Siendo R = 0.80 y R = 0.79

Matanzas

$T_m = 8.9 - 0.001 (T_c) + 0.34 (T_{mM}) + 0.13 (T_{1000}) + 0.27 (T_{850}) - 0.07 (Dv_{1000}) - 0.79 (Vv_{1000}) - 0.07 (Dd_{850})$

$T_{mx} = 27 + 0.1615 (T_{850}) - 0.05 (Dv_{850}) - 0.55 (Vv_{850}) - 5$

Siendo R = 0.80 y R = 0.98

Las Villas

$T_m = 4.9 - 7.2 (T_c) + 0.248 (T_{mxV}) + 0.1152 (T_{1000}) + 0.2849 (T_{850}) -$

$0.049 (Dv_{1000}) - 0.094 (Dv_{850})$

$T_{mx} = 8.35 + 3.96 (T_c) + 0.6806 (T_{mxV}) - 0.2325 (T_{mV}) + 0.2148 (T_{1000}) - 0.0593 (Dv_{850})$

Siendo R = 0.79 y R = 0.80

Pronóstico por provincia sin cuña:

Se procedió de forma similar al caso con cuña, manteniéndose como predictores significativos todo lo referente al caso con cuña, mas la presión central del anticiclón continental (Pa), obteniéndose el siguiente conjunto de ecuaciones pronóstico.

Pinar del Río

$T_m = 0.886578 + 0.6673721 (T_{mP}) + 0.3596275 (T_{1000})$

$T_{mx} = 26.74857 + 0.006981 (T_{mxP}) - 0.00553 (Dv_{850})$

Siendo R = 0.80 y R = 0.80

Habana

$T_m = - 5.124078 + 0.5838014 (T_{mH}) + 0.2374413 (T_{1000}) + 0.5461568 (T_{850}) - 0.0125 (Dv_{1000}) + 0.2026538 (Vv_{850})$

$T_{mx} = 139.9199 + 0.927955 (T_{mxH}) - 0.317927 (T_{mH}) - 0.1159684 (Pa) + 0.4388961 (T_{850}) - 0.00807 (Dv_{850})$

Siendo R = 0.85 y R = 0.93

Matanzas

$T_m = 0.8831 + 0.4808 (T_{mM}) + 0.11388 (T_{1000}) + 0.4625 (T_{850}) - 0.0094 (Dv_{1000})$

$T_{mx} = - 38.7584 + 0.0617 (Pa) + 0.4238 (T_{850}) + 0.0304 (Vv_{1000}) - 0.1147 (Vv_{850})$

Siendo $R = 0.83$ y $R = 0.82$

Las Villas

$$T_m = 2.5786 + 0.1547(T1000) + 0.6013(T850) - 0.0055(Dv850) + 0.1530(Vv1000) + 0.0003(Dv1000)$$

$$T_{mx} = 23.6709 + 0.2998(T_{mxV}) - 0.127(T_{mV}) - 0.0001(Pa) + 0.0255(T1000) + 0.2805(T850) - 0.0071(Dv1000) - 0.2280(Vv1000) + 0.0006(Dv850) + 0.02488(Vv850)$$

Siendo $R = 0.87$ y $R = 0.86$

Siendo T_m y T_{mx} las temperaturas mínimas y máximas pronosticadas

Evaluación

Para la evaluación primaria del método se utilizó una muestra independiente consistente en 10 casos con cuña y 10 sin cuña, obteniéndose el siguiente resultado:

Casos con cuña: $\pm 2.0^\circ\text{C}$ para la temperatura mínima
 $\pm 1.7^\circ\text{C}$ para la temperatura máxima

Casos sin cuña: $\pm 1.6^\circ\text{C}$ para la temperatura mínima
 $\pm 2.1^\circ\text{C}$ para la temperatura máxima

Durante las últimas temporadas invernales el método fue usado operativamente en el departamento de Pronóstico obteniéndose los siguientes resultados:

CASOS CON CUÑA		
Estaciones	T. Mínima	T. Máxima
Pinar del Río	1.6	1.0
Habana	2.1	2.1
Matanzas	2.2	2.1
Las Villas	2.1	2.2

CASOS SIN CUÑA		
Estaciones	T. Mínima	T. Máxima
Pinar del Río	1.9	2.0
Habana	2.0	0.9
Matanzas	2.1	2.2
Las Villas	2.1	1.8

Estos resultados fueron elaborados sobre la base de 10 días con cuña y 20 días sin cuña.

El método se fundamenta en un proceso de interacción océano - atmósfera donde se utiliza la morfología de las nubes para estimar la temperatura del aire. No encontrándose otro enfoque de este tipo en la literatura consultada.

El software SATEM está programado en lenguaje PASCAL, cuenta de un menú que permite una interacción muy rápida entre el usuario y el sistema, la introducción de la información necesaria se produce por teclado y de forma muy sencilla, el tiempo de corrida del programa no excede los cinco minutos. El sistema consta de una ayuda que brinda al usuario todas las facilidades para la utilización del mismo. Los resultados del procesamiento se muestran a través de tablas e imágenes. Se elaboró un manual de usuario que recoge toda la información necesaria para el empleo de este software así como un conjunto de datos técnicos del mismo.

Conclusiones

Los resultados aquí obtenidos representan un esfuerzo más por la utilización lo más racional y óptima posible de la información de satélite disponible, con el objetivo de proveer al grupo de satélites meteorológicos de un conjunto de herramientas, que permitan dar respuesta a las necesidades crecientes de la Predicción Meteorológica, lográndose de esta forma un método posible de operar incluso solamente sobre la base de imágenes de satélite y un Software de muy fácil empleo para el usuario. Estos resultados han sido probados en la práctica por más de dos años con muy buenos resultados. No obstante este método es factible de mejorar, introduciendo nuevas condiciones como son: la velocidad de desplazamiento de la cuña, la temperatura del mar y otras variables.

Bibliografía

Henry W. R. abril 1979 : Some aspects of the fote of cold from in the Gulf of México.

Montly Weather Review. Abril 1979.

Oceanic and related atmospheric Phenomeno , as Viewed from Environmental Satellites . US DEPARMENT. of COMMERCE Washington de 1979

Mojena E. 1991: Aspectos relevantes de la evolución de los frentes fríos sobre el Golfo de México (inédito). Instituto de Meteorología. CITMA.

Palabras clave:

temperatura, atmósfera-océano, satélite, frente frío